

文章编号: 1001-4322(2004)03-0281-05

基于多特征融合的图像匹配模式^{*}

彭真明^{1,2}, 张启衡², 魏宇星², 张覃平²

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054;

2. 中国科学院 光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘 要: 常规图像匹配模式主要利用了像素的灰度信息和形状信息, 而弱小目标检测与跟踪过程中, 这两种信息都缺乏明显特征, 难于满足高精度、稳定跟踪的要求。提出一种新的匹配模式, 即从图像数据里提取包括灰度、形状在内的多种特征信息。寻找一种简单有效的信息融合手段, 进而获取一种综合特征, 利用“综合特征”进行相似度量来确定目标的最佳定位。仿真计算结果表明, 该方法是可行和有效的。

关键词: 图像处理; 多特征融合; K-L 变换; 图像匹配; 弱目标检测

中图分类号: O413; TL56 **文献标识码:** A

图像匹配技术是决定图像中彼此对应的物体相似性度量的过程, 即图像匹配总是使相似性度量最大。图像匹配过程中至关重要的三个因素就是: 匹配的数据类型、相似性的度量函数以及搜索方法。这三个因素都是匹配技术必不可少的环节, 每一种因素都有其深入研究的价值所在。而本文讨论的重点将放在匹配的数据类型上。

从匹配数据类型上看, 匹配可初步分为以下几种模式: 基于灰度相关的匹配模式, 基于特征的匹配模式, 基于解释的图像匹配模式。基于灰度相关的匹配就是逐像素地把一个以一定大小的实时图像窗口的灰度矩阵与参考图像的所有可能的窗口灰度矩阵按某种相似性度量方法进行搜索比较的匹配方法。其优点是具有相对较小的计算量, 易于硬件实现。基于特征的匹配模式是首先提取反映图像重要信息的特征, 而后以这些特征为模型进行匹配。一般来说绝大多数都是指基于点、线和边缘的局部特征匹配。而基于解释的图像匹配技术需要建立在图片自动判读的专家系统上, 目前尚未取得突破性进展^[1~3]。

成像跟踪系统中弱小目标的检测一直被认为是一个难题, 主要表现在远距离、低对比度; 目标形状为点状或模糊斑点状, 点、角、边缘等特征不明显; 甚至运动过程中出现目标闪烁、间断等现象。不言而喻, 针对这种灰度差异、几何特征不明显的断续目标的检测跟踪, 利用上述的匹配检测模式是难于满足高精度、稳定跟踪的要求的。为此, 本文提出一种新的多特征融合的图像匹配模式。即综合利用目标的灰度特性、几何特性以及图像中蕴藏的其他典型特性, 然后经过一种数学变换, 得到其融合特性, 以此作为图像匹配的相似度量依据。仿真计算结果表明, 该方法是可行和有效的, 尤其适用于低对比度弱小目标的检测与跟踪。

1 多特征提取

特征也称为目标特性, 通常是指不同传感器获取的反映同一目标的图像数据, 它直接携带的是目标的灰度信息以及点、角点、边缘特征等。由于图像数据获取过程中的各种干扰, 它可能会受到各种畸变, 甚至是不可恢复的扭曲。所以单一特性作为目标识别检测的度量会带来计算结果的不可靠性。对图像数据进行各种数学变换获取的信息同样可以从侧面反映物体或目标的几何形态、运动学特征和统计学特征, 它们也的确蕴藏在图像数据之中, 是间接的目标特性。大量的理论和实践表明, 在直接特征不明显的情况下, 辅于其间接特征, 进而寻找一种综合目标特性, 是解决问题的根本, 同时也是当代信息技术领域数据融合的重要思想。通过反复实验验证, 这些有效间接特征包括时频特征、分形特征和突变特征。

1.1 时频特征

根据图像信息在时、频域的分布情况, 可知能量集中点在频率轴和时间轴的截距分别是信号的主频和群延迟。信号在时频域中的能量密度函数可表示为

$$\epsilon(t, f) = |u(t)| |u(f)| e^{i[\varphi(f) - \theta(t) + 2\pi ft]} \quad (1)$$

^{*} 收稿日期: 2003-04-23; 修订日期: 2003-10-29

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 彭真明 (1966—), 男, 博士后, 副研究员, 主要从事信号处理、图像处理与成像跟踪技术研究; E-mail: pypzm@tom.com。

式中：

$$u(t) = x(t) + \mathrm{i}y(t) = |u(t)| \mathrm{e}^{\mathrm{i}\varphi(t)} \tag{2}$$

$$\bar{h}(f) = |u(t)| \mathrm{e}^{-\mathrm{i}\varphi(f)} \tag{3}$$

这样,只需求得 $\epsilon(t, f)$ 的能量集中点,就可以得到信号的时频特征。而在实际应用中 t 和 f 都是网格化的。如果某一网格点上的 ϵ 值比它周围的 8 个点的值都大,那么该点就可以认为是能量集中点,能量集中点处的频率值即为主频率,能量最大值点所对应的瞬时相位、瞬时振幅值即为主相位、主振幅值。

1.2 分形特征

在传统理论感到困惑的地方,分形理论往往能运用自如,在越混乱、越无规则、越复杂的领域,分形理论往往越有效。描述分形的定量参数叫做分形维数或分维数,按不同的计算方法和几何意义可分为计盒维、关联维、信息维、Hurst 指数等,其大小反映了序列的复杂程度。下面以计盒维为例说明求取图像数据分形特征的基本原理。

M 维欧氏空间上的有界集合 X 是自相似的,如果 X 是由 N 个互不重叠的,由 X 经放大或缩小 δ 倍后所形成的单元构成的,那么集合 X 的分形维数 D 由

$$D = - \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\lg N(\delta)}{\lg \delta} \tag{4}$$

给出。实际计算中采用毯子覆盖法,即把图像数据看作是一个三维空间,可用边长为 δ 的小正方体(盒子)去覆盖波门里的图像数据,可得到完全覆盖需要的盒子的最小个数 $N(\delta)$ 。然后改变 δ ,又可得到另一个 $N(\delta)$ 。重复这一过程,就可得到一张 $\lg N(\delta) - \lg \delta$ 图,用最小二乘法进行直线拟合,其斜率的负值即为图像数据的计盒维数。

1.3 突变特征

目标的边缘本身可看作是一个信息的突变元,它相当于梯度信息,但它比梯度特性更具有广泛的意义。因此,利用突变理论来研究图像的边缘特征,进行目标复杂性探索是比较切合实际的。

首先对波门内图像数据按行和按列分别进行累加生成(AGO),得到水平和垂直方向上的新的数据集合 X 和 Y 。设原图像为 (x, y) ,那么经 AGO 生成后的新的图像为 $x' = \{x'_1, x'_2, \dots, x'_k, \dots, x'_n\}$ 和 $y' = \{y'_1, y'_2, \dots, y'_k, \dots, y'_n\}$,其中

$$\begin{cases} x'_k = \sum_{j=1}^k x_j, \\ y'_k = \sum_{j=1}^k y_j, \end{cases} \quad k \leqslant n \tag{5}$$

以水平方向为例,将序列 x'_k 化成尖点突变模型的标准形式

$$x' = \frac{1}{4}Z^4 + \frac{1}{2}aZ^2 + bZ + c \tag{6}$$

式中: Z 为状态量; a, b 为控制变量; c 为剪切项。这样就建立了目标信号的水平方向的灰色尖点突变模型,按同样的步骤可以得到垂直方向上的突变模型。在此基础上提取的突变次数反映了图像数据中目标幅值的相对变化。

2 特征压缩与融合

数据融合技术是随雷达信息处理及 C^3I 系统的发展而发展起来的。它对各种数据源进行综合、过滤、相关、识别和融合,得出战场态势图、进行态势威胁与判别,制定出作战行动方案,供指挥员决策参考。数据融合的过程就是各种信息源处理、控制及决策的一体化过程^[4]。可以看出融合思想就是一种综合分析的思想,因此,对于同源数据的多种特征进行综合分析、评判和决策处理也是某种意义上的融合方式。而对于作为图像相似度量的数据信息同样可以从以上提取的各种特征中,通过融合得出一种贡献最大、最为典型的综合特征。融合的方法很多,如加权平均法、表决规则法、线性分类器、人工神经网络模拟等。本文采用离散 Karhunen-Loeve(以下简称 K-L)变换,对提取的多种特征进行信息压缩,找到最大特征值对应的经过变换的“特征”。从某种意义上来说,K-L 变换也是一种信息的自适应融合。

K-L 变换实际上可理解为对大量数据的统计性质用其均值向量和协方差矩阵来表征,然后对其进行正交展开。设 X 为 N 维随机向量,则 X 的 K-L 展开可表示为

万方数据

$$Y = TX \tag{7}$$

式中： T 为一正交变换矩阵，其元素由 X 的协方差矩阵的特征向量组成，即

$$T = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N) = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{21} & \dots & \phi_{N1} \\ \phi_{12} & \phi_{22} & \dots & \phi_{N2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_{1N} & \phi_{2N} & \dots & \phi_{NN} \end{bmatrix}$$

(8)

X 的协方差矩阵记作

$$\sum_x = E\{(X - \bar{X})(X - \bar{X})^T\}$$

(9)

$\bar{X} = E(X) = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_N)$ 代表均值向量，则存在关系式

$$\sum_x \phi_i = \lambda_i \phi_i$$

(10)

式中： $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N \geq 0$ 是 \sum_x 的特征值； ϕ_i 为对应的特征向量。

对于已经获取的若干组特征数据，首先做归一化处理，然后进行 K-L 展开，得到若干组新的特征数据，其中每个特征点均是原来 N 个特征的线性组合，然后在其中选出前 K 个数据组成一个子集来刻画被处理对象的特性。虽然特征个数由 N 个降为 K 个，但在这 K 个特征中，均包含了原 N 个特征的影响。

K-L 变换是一种在均方误差准则下的最优正交变换，具有保熵性、保能量性、去相关性以及能量重新分配和集中等优点。通过 K-L 变换，既实现了特征的压缩，同时也实现了特征的融合。

3 实验结果与分析

根据以上阐述的方法和思路，对外场采集的实际图像进行了仿真计算。采集实验数据是典型的弱、小、低对比度目标，具体表现为，目标在成像平面上只占几个像元，成边缘模糊、残缺的斑点状，目标与背景幅值差异小于 6 个 ADU(模拟数字转换单元)；其次，背景周围存在杂乱的高频随机噪声，序列图像连续帧间出现目标闪烁、间断、亮度变化大等现象。图 1 为连续场景中某帧原始图像数据(128×64)，图中的闪烁亮斑为要检测和跟踪的目标，图像信噪比约为 4dB。图 2 为原始图像的灰度变化曲面，目标灰度特征微弱，几乎淹没于噪声之中。外场实际跟踪过程中，目标提取相当困难，常规方法无法实现稳定闭环跟踪。采用本文方法的主要步骤如下：

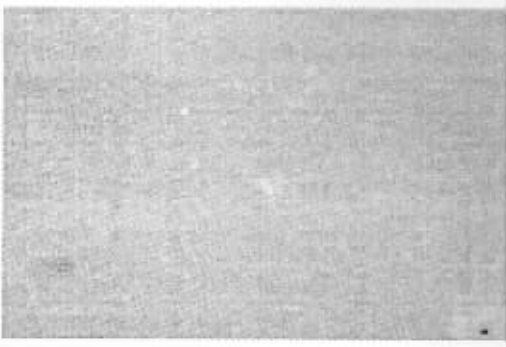


Fig. 1 One of the image sequences for dim target

图 1 弱小目标图像序列的某帧原始数据

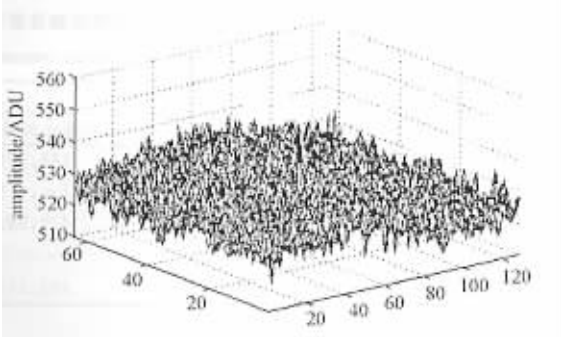
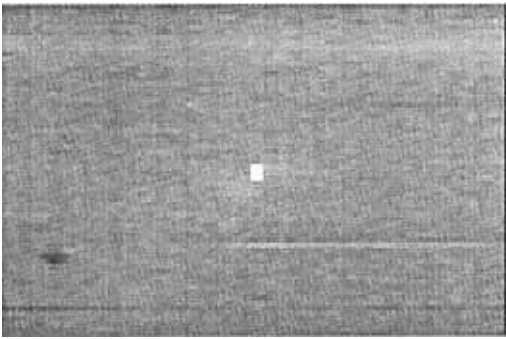


Fig. 2 Gray curve of initial image for Fig. 1

图 2 原始图像(图 1)的灰度变化

(1)针对单帧图像做高通滤波、非线性对比度增强处理；(2)取连续 3 帧数据且在包含目标的 16×16 大小的窗口内，加权平均确定初始模板，提取模板数据的上述各种特征属性，对多种特征以及窗口内平均灰度值进行 K-L 变换，取 K-L 变换后 λ_1 (最大特征值)对应的特征数据作为后续相似度量的目标“综合特征”(3)整个区域或限定区域内，对模板“综合特征”的最佳搜索定位，进而确定目标的最佳位置。

图 3 为经过上述步骤处理后的图像，信噪比提高到约 7dB，对比度明显改善，并给出了目标的检测位置。图 4 是在图 3 数据中提取的突变特征，即信号的突变次数，可以看出目标位置处出现较大的突变次数。图 5 为经过时-频分析确定的能量集中点(直观起见，已映射为空-频域)，目标所在位置具有较大的能量(密度)幅值，且处于二维频谱中的低频区(图中能量集中点的对应频率约为 48Hz)。表 1 给出了灰度匹配与多特征融合匹配两种方法检测精度的对比，一共统计了跟踪过程中的 5 帧数据。表中“—”表示没有检测到目标，统计的时间



. 3 Matching detection result for Fig. 1 after processing
图 3 图 1 数据的处理及匹配检测结果

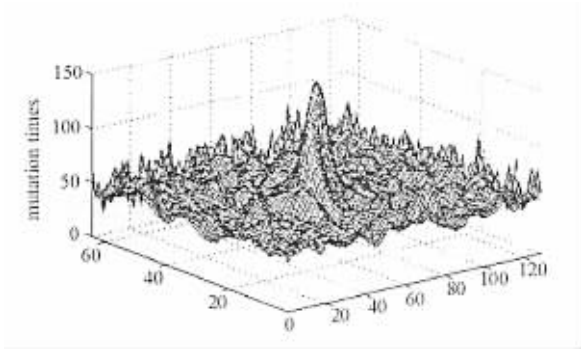


Fig. 4 Mutation times of image data for Fig. 3
图 4 图 3 数据的突变特征曲线

仅为特征提取、变换到整个搜索过程的时间,不包括预处理过程。可以看出,本文采用的融合匹配比常规灰度匹配对目标检测的精度相对要高,而且在跟踪过程中灰度匹配可能出现目标丢失的情况(如 14 帧、48 帧),而融合技术避免了这一情况的发生。

4 结 论

本文采用多特征融合匹配方法对灰度差异小、几何特征不明显的弱小运动目标进行了仿真计算,取得了较好的检测跟踪效果。该方法的显著特点就是利用信息融合技术,寻找目标的综合特征而不是单一的点、角、边信息,进而确定目标的最佳定位。值得一提的是,该方法尚需花费较多的时间用于多特征提取、融合和模板搜索过程,这对实时系统来说不能不说是一个致命的弱点。为了更有效地应用于实时系统,还需进一步做如下深入研究:(1) 针对不同目标,反复实验,确定尽可能少、最具代表性的典型目标特征。研究多特征的最优组合途径和有效融合技术;(2) 研究更为有效的模板搜索算法,减小搜索过程中的时间。

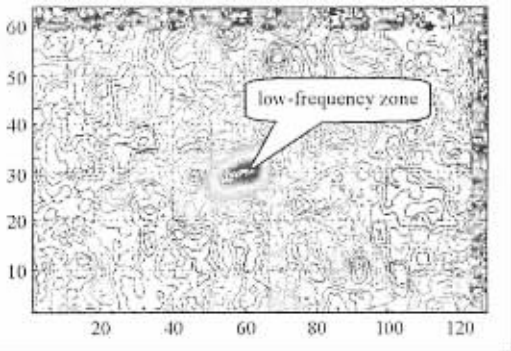


Fig. 5 Energy centralizing point obtained by time-frequency analysis
图 5 时-频特征确定的能量集中点

表 1 多特征融合算法与灰度匹配算法的检测性能对比

Table 1 Detection performance comparison between multi-feature fusion and gray matching

frame No.	initial position	gray matching		fusion matching	
		target position	time/ms	target position	time/ms
8	(68,32)	(68,32)	56.0	(68,32)	74.0
14	(70,36)	(—,—)	56.0	(70,35)	74.0
35	(73,37)	(73,38)	56.0	(73,37)	74.0
48	(75,42)	(—,—)	56.0	(76,42)	74.0
75	(80,45)	(82,44)	56.0	(80,45)	74.0

参考文献:

[1] 钟胜,桑农,张天序. 基于灰度相关的雷达与可见光景象匹配算法[J]. 红外与激光工程,1999,28(5): 22—25. (Zhong S, Sang N, Zhang T X. Method of intensity-based correlation for radar to optical scene matching. *Infrared and Laser Engineering*, 1999, 28(5): 22—25)

[2] 李俊山,沈绪榜. 图像匹配技术研究[J]. 微电子学与计算机,2000,17(2): 10—14. (Li J S, Shen X B. Research on image matching technique. *Microelectronics and Computer*, 2000, 17(2): 10—14)

[3] 王峰,邓方林. 基于直方图约束的匹配图像改善方法[J]. 中国图像图形学报,2001,16(3):234—238. (Wang F, Deng F L. The way of improving matching dependability based on changing histogram. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 16(3):234—238)

[4] 蒋庆全. 数据融合与雷达目标识别综述[J]. 现代防御技术,2001,29(3): 58—63. (Jiang Q Q. Summary about data fusion and radar target recognition. *Modern Defence Technology*, 2001,29(3): 58—63)

[5] Dare P M, Dowan I J. A comparison of feature extraction algorithms for automated feature based on multi-sensor image registration[C]. RSS 97, 1997.

[6] Gao X Q, Duanmu C J, Zou C R. A multilevel successive elimination algorithm for block matching motion estimation[J]. *IEEE Trans, Image Processing*, 2000, 19(3): 501—504.

[7] 葛成良,黄志伟,李云松,等. 基于“猫眼效应”的目标识别[J]. 强激光与粒子束,2003,15(7):632—634. (Ge C L, Huang Z W, Ji Y S, et al.

Target classification with “cat eye effect”. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, **15**(7):632—634

Image matching based on multi-features fusion

PENG Zhen-ming^{1,2}, ZHANG Qi-heng², WEI Yu-xing², ZHANG Qin-ping²

(1. *School of Opto-Electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;*

2. *Institute of Optics and Electronics, the Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 350, Chengdu 610209, China*)

Abstract: The conventional methods of image matching are based on gray and shape of image. These two features can't describe image data well especially in tracking the faint and small targets. It's difficult to track the target with high-precision and steady. In this paper, a new algorithm of image matching was proposed. It extracts characters including gray and shape from image data and gains an integrated character using the information fusion algorithm with simplicity and effect. Then calculates the position coordinate of target using integrated characteristics by correlation degree. Simulation shows that the method is feasible and effective.

Key words: Image processing; Multi-features fusion; K-L transform; Image matching; Faint target detection